

УДК 622.227:622.232.5

М.А. Перфильева, А.С. Хрулев

РАСЧЕТ ЭРЛИФТА ПРИ СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Проведен сравнительный анализ параметров эрлифтного подъема полученных экспериментальным путем, расчетами по формуле Гейера, по балансу энергий и полученной эмпирической зависимости

Ключевые слова: скважинная гидродобыча полезных ископаемых, эрлифтный подъем.

Одним из основных процессов скважинной гидродобычи является эрлифтный подъем гидросмеси полезного ископаемого по скважине. При расчете эрлифтного подъема наиболее часто применяют формулу В.Г. Гейера для определения необходимого расхода воздуха для подъема гидросмеси.

$$Q_{B_3} = \frac{\Pi_3 \cdot H \cdot \gamma'}{23 \cdot \eta \cdot \lg\left(\frac{h}{10} + 1\right)}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (1)$$

При этом диаметр эрлифтной трубы выбирается по формуле включающей производительность и коэффициент затопления эрлифта.

$$D_3 = \left(\frac{\Pi_3}{k \cdot \alpha} \right)^{0.4}, \text{ см} \quad (2)$$

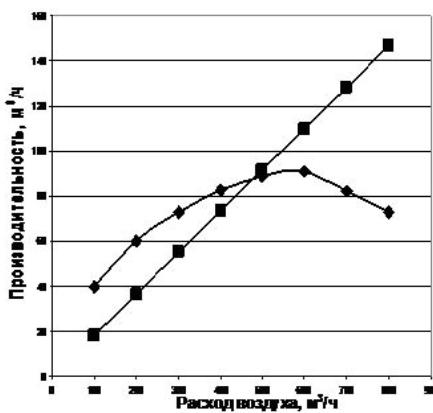


Рис. 1. Зависимость производительности эрлифтного подъема от расхода воздуха, по опытным данным (1) и рассчитанная по формуле В.Г. Гейера (2)

При скважинной гидродобыче параметры подъема не совпадают с параметрами, для которых получены формулы В.Г. Гейера, особенно по коэффициенту затопления (у В.Г. Гейера $\alpha = 0,1 - 0,4$), поэтому используемые в формуле опытные коэффициенты не применимы в расчете. По формуле (1) с ростом расхода воздуха линейно возрастает производительность эрлифтного подъема Π_3 , что не соответствует характеристике эрлифта, согласно которой эта зависимость имеет максимум и параболический вид (рис. 1). По формуле (2) производительность подъема пропорциональна диаметру эрлифта в степени 2,5, что не согласуется с результатами большого количества испытаний различных по конструкции скважинных эрлифтных снарядов.

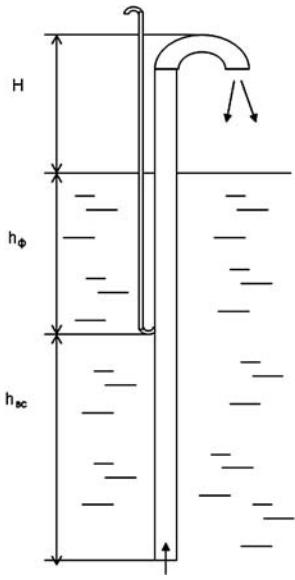


Рис. 2. Схема эрлифтного снаряда, используемая при расчете параметров подъема

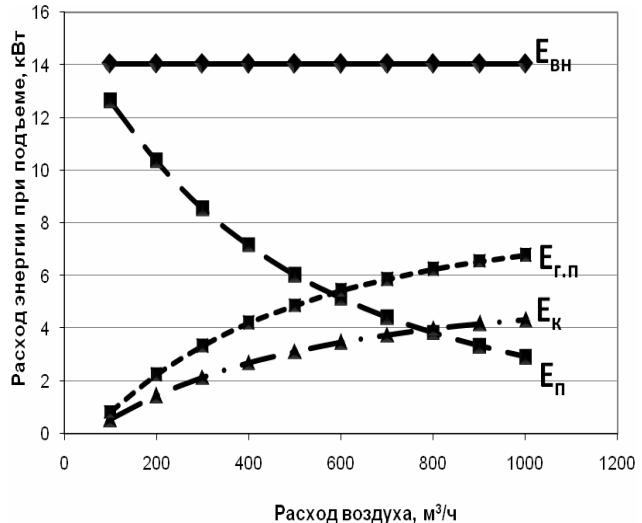


Рис. 3. Изменение энергии вне и внутри эрлифта от расхода воздуха: $D_3 = 0,15 \text{ м}$, $h_B = 9 \text{ м}$, $H_s = 11,25 \text{ м}$ [3]

В данной работе сопоставлялись характеристики и параметры эрлифтного подъема, полученные на основе большого количества экспериментальных и опытных данных как в ходе стендовых исследований, так и при скважинной гидродобыче фосфоритовых, строительных, золотосодержащих песков с расчетными значениями параметров эрлифтного подъема.

Расчет параметров эрлифтного подъема по балансу энергии вне и внутри эрлифта позволяет учесть конструктивные особенности эрлифтного снаряда и условия подъема (рис. 2). Потенциальная энергия, определяемая уровнем воды вне эрлифта, равна кинетической и потенциальной энергии внутри эрлифта с учетом потерь на трение, при этом, с ростом расхода воздуха, снижается потенциальная энергия внутри эрлифта, и растут кинетическая энергия и потери энергии связанные с гидравлическим сопротивлением (рис. 3)

$$E_{\text{вн}} = E_{\pi} + E_{\text{k}} + E_{\text{г.п.}} \quad (3)$$

Величина потенциальной энергии внутри эрлифта до подачи воздуха равна

$$E_{\text{вн}} = mgh = 9,81 \cdot \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} \cdot \gamma_{\text{в}} \cdot h \quad (4)$$

где D_3 — диаметр эрлифтной трубы; $\gamma_{\text{в}}$ — плотность воды; h — высота воды от уровня всаса вне эрлифта.

При подъеме гидросмеси величина кинетической энергии внутри эрлифта равна сумме затрат кинетической энергии во всасывающем наконечнике (до воздушной форсунки) ($E_{\text{k}}^{\text{вс}}$) и кинетической энергии выше воздушной форсунки (E_{k}^{ϕ}).

$$E_{\kappa} = E_{\kappa}^{bc} + E_{\kappa}^{\phi} = \frac{m_{bc} \cdot V_{bc}^2}{2} + \frac{m_{\phi} \cdot V_{\phi}^2}{2} \quad (5)$$

где $m_{bc} = \frac{\pi \cdot D_{bc}^2}{4} \cdot h_{bc} \cdot \gamma_{\pi}$ — масса гидросмеси во всасывающем наконечнике;

D_{bc} — диаметр всасывающего наконечника; h_{bc} — расстояние от всаса эрлифта до воздушной форсунки; γ_{π} — плотность гидросмеси во всасывающем наконечнике.

$$V_{bc} = \frac{4 \cdot \Pi_{\pi}}{\pi \cdot D_{bc}^2 \cdot 3600}, \text{м/с} \quad \text{— скорость движения гидросмеси во всасывающем}$$

наконечнике до воздушной форсунки

$$m_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot (h_{\phi} + H) \cdot \gamma_{\phi} \quad \text{— масса гидросмеси выше воздушной форсунки; } D_{\phi}$$

— диаметр всасывающего наконечника; h_{ϕ} — расстояние от воздушной форсунки до уровня воды вне эрлифта; H — высота подъема от уровня воды;

$$\gamma_{\phi} = \frac{\Pi_{\phi} \cdot \gamma_{\pi}}{\Pi_{\phi} + Q_{bc} \cdot k_{cjk}} \quad \text{— плотность гидросмеси выше воздушной форсунки.}$$

Q_{bc} — расход воздуха, $\text{м}^3/\text{час}$;

$$k_{cjk} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{10}{10 + h_{\phi}} + 1 \right) \quad \text{коэффициент сжимаемости воздуха от давления во-}$$

ды над уровнем воздушной форсунки.

Величина потенциальной энергии внутри эрлифта (E_{π}) при подъеме гидросмеси также складывается из потенциальной энергии до (E_{π}^{bc}) и после (E_{π}^{ϕ}) воздушной форсунки

$$E_{\pi} = E_{\pi}^{bc} + E_{\pi}^{\phi} = m_{bc} \cdot g \cdot h_{bc} + m_{\phi} \cdot g \cdot (h_{\phi} + H) \quad (6)$$

Потери энергии, связанные с гидравлическим сопротивлением при движении гидросмеси внутри эрлифта ($E_{r.p.}$) складываются из сопротивления на участке ниже ($E_{r.p.}^{bc}$) и выше ($E_{r.p.}^{\phi}$) воздушной форсунки.

$$E_{r.p.} = E_{r.p.}^{bc} + E_{r.p.}^{\phi} = m_{bc} \cdot g \cdot h_{r.p.}^{bc} + m_{\phi} \cdot g \cdot h_{r.p.}^{\phi} \quad (7)$$

где $h_{r.p.}^{bc} = \frac{\lambda \cdot V_{bc}^2 \cdot h_{bc} \cdot \gamma_{\pi}}{2 \cdot g \cdot D_{bc}}$, М.В.С. — гидравлические потери до воздушной фор-

сунки;

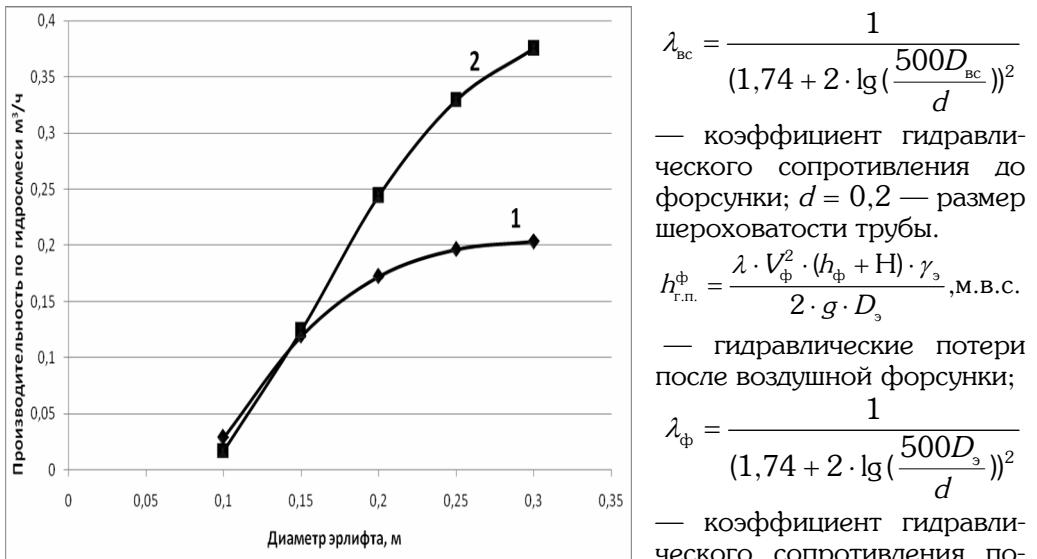


Рис. 4. Зависимость производительности эрлифтного подъема ($\gamma_n = 1$) от диаметра эрлифтной трубы при $a = 0,6$ для расхода воздуха $600 \text{ м}^3/\text{час}$ (1) и $1200 \text{ м}^3/\text{час}$ (2)

рукции эрлифтных снарядов с диаметром пульпоподъемной (эрлифтной) трубы 114, 168, 219 мм с внешним расположением водоподающей и воздухоподающей колонны и диаметром 245, 273, 324 мм с внутренним расположением подающих колонн. На рис. 4 показана зависимость производительности эрлифтного подъема от диаметра эрлифтной трубы для расхода воздуха 600 и $1200 \text{ м}^3/\text{час}$ и коэффициента затопления эрлифта $a = 0,6$, рассчитанная по балансу энергии.

Увеличить производительность подъема можно увеличением диаметра эрлифта, однако при скважинной гидродобыче это связано с увеличением диаметра скважины, что ведет к росту затрат на бурение и добычу полезных ископаемых.

Кроме расхода воздуха и диаметра эрлифтной трубы на производительность эрлифтного подъема в большой степени влияет коэффициент затопления эрлифта

$$\alpha = \frac{h}{h + H} \quad (8)$$

Для конструкции эрлифта с длинным всасывающим наконечником (с большим расстоянием от всаса до воздушной форсунки) формула для определения коэффициента затопления примет вид:

$$\alpha = \frac{(h_{bc} + h_\phi) \cdot \gamma_b - h \cdot \gamma_n}{\gamma_b \cdot (h_\phi + H)} \quad (9)$$

$$\lambda_{bc} = \frac{1}{(1,74 + 2 \cdot \lg(\frac{500D_{bc}}{d}))^2}$$

— коэффициент гидравлического сопротивления до форсунки; $d = 0,2$ — размер шероховатости трубы.

$$h_{r.p.}^\phi = \frac{\lambda \cdot V_\phi^2 \cdot (h_\phi + H) \cdot \gamma_3}{2 \cdot g \cdot D_s}, \text{м.в.с.}$$

— гидравлические потери после воздушной форсунки;

$$\lambda_\phi = \frac{1}{(1,74 + 2 \cdot \lg(\frac{500D_3}{d}))^2}$$

— коэффициент гидравлического сопротивления после форсунки.

При проведении работ по скважинной гидродобыче фосфоритов на Кингисеппском месторождении были испытаны различные конструкции эрлифтных снарядов с диаметром пульпоподъемной (эрлифтной) трубы $114, 168, 219$ мм с внешним расположением водоподающей и воздухоподающей колонны и диаметром $245, 273, 324$ мм с внутренним расположением подающих колонн. На рис. 4 показана зависимость производительности эрлифтного подъема от диаметра эрлифтной трубы для расхода воздуха 600 и $1200 \text{ м}^3/\text{час}$ и коэффициента затопления эрлифта $a = 0,6$, рассчитанная по балансу энергии.

Увеличить производительность подъема можно увеличением диаметра эрлифта, однако при скважинной гидродобыче это связано с увеличением диаметра скважины, что ведет к росту затрат на бурение и добычу полезных ископаемых.

Кроме расхода воздуха и диаметра эрлифтной трубы на производительность эрлифтного подъема в большой степени влияет коэффициент затопления эрлифта

$$\alpha = \frac{h}{h + H} \quad (8)$$

Для конструкции эрлифта с длинным всасывающим наконечником (с большим расстоянием от всаса до воздушной форсунки) формула для определения коэффициента затопления примет вид:

$$\alpha = \frac{(h_{bc} + h_\phi) \cdot \gamma_b - h \cdot \gamma_n}{\gamma_b \cdot (h_\phi + H)} \quad (9)$$

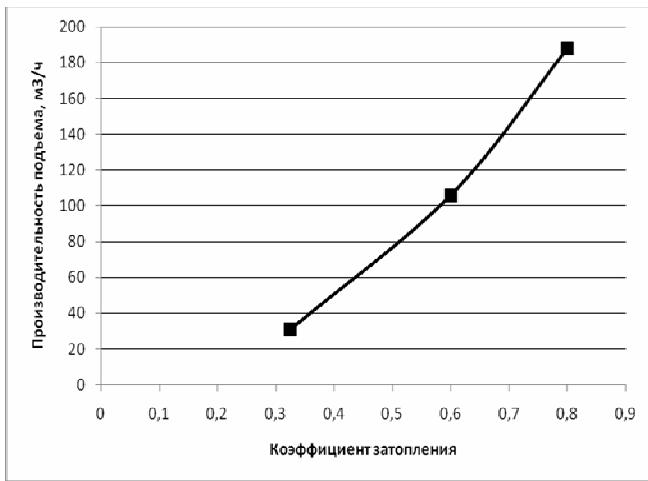


Рис. 5. Зависимость производительности эрлифтного подъема от величины коэффициента затопления при $Q_{вз} = 600 \text{ м}^3/\text{час}$.

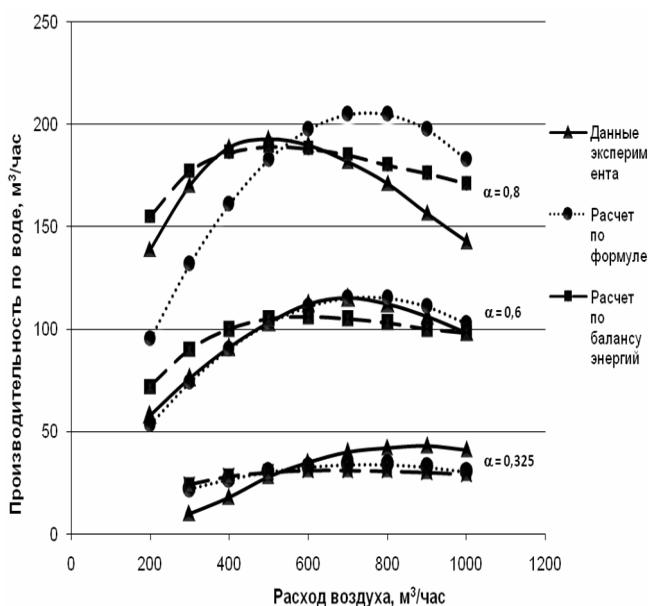


Рис. 6. Опытные значения характеристик эрлифта для различных значений коэффициента затопления, полученные опытным путем, рассчитанные по балансу энергий и по полученной эмпирической зависимости

На рис. 5 показаны зависимости производительности эрлифтного подъема от величины коэффициента затопления.

Таким образом, обеспечить требуемую производительность подъема можно изменяя расход воздуха, диаметр эрлифтной трубы и коэффициент затопления эрлифта, в тех случаях, когда размык ведется в породах с низкой проницаемостью, как например, в многолетнемерзлых песчаных породах.

Для упрощенной конструкции эрлифтного снаряда с коротким всасывающим наконечником и длиной от 20 до 100 м, диаметром эрлифтной трубы от 0,1 до 0,3 м, при коэффициенте затопления эрлифта α от 0,3 до 0,8 и расходе воздуха от 200 до 1500 $\text{м}^3/\text{час}$ на основании обработки экспериментальных данных получена следующая эмпирическая зависимость

$$\Pi_9 = 7 \cdot \frac{\alpha^2}{\gamma_D} (D^{0,25} - 0,5) \times \left(Q_B - \frac{10^{-4}}{D} \cdot Q_B^2 \right), \text{ м}^3/\text{ч} \quad (10)$$

На рис. 6 показаны значения характеристик эрлифта для различных значений коэффициента затопления, полученные опытным путем, рассчитанные по балансу энергий и по полученной эмпирической зависимости (10).

В указанном диапазоне параметров эрлифтного подъема отклонение значений производительности, полученной экспериментальным и расчетным путем, не превышает 15 %, что позволяет использовать формулу (10) в инженерных расчетах.

Выходы

Для условий скважинной гидродобычи может быть рекомендован расчет параметров эрлифтного подъема основанный на балансе энергий вне и внутри эрлифтного снаряда.

Полученная эмпирическая зависимость для конструкции эрлифта с коротким всасывающим наконечником позволяет упростить расчет параметров эрлифтного подъема и получить результаты, приближенные к опытным значениям и расчету параметров по балансу энергий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гейер В.Г. Эрлифтный гидроподъем гидрошахты «Красноармейская», № 2. – Реф. сб. ЦНИИТЭУгия. Гидравлическая добыча угля. М., Недра, 1968.
2. Гейер В.Г. Новые технологические схемы и средства шахтного водоотлива. – Труды Донецкого политехнического института, Донецк, 1972. с. 20–23.
3. В.Ж. Аренс, Шлак Д.Н., Исмагилов Б.В. Скважинная гидродобыча твердых полезных ископаемых. М., Недра, 1980. ГИАВ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Хрулев Александр Сергеевич – доктор технических наук, член-кор. РАН, начальник отдела проектирования подземных хранилищ в многолетнемерзлых породах,
Перфильева Маргарита Александровна – технолог,
Газпром геотехнологии (быв. Подземгазпром), e-mail: mail@gazpromgeotech.ru



UDC 622.227:622.232.5

CALCULATION OF AIRLIFT IN HYDRAULIC BOREHOLE MINERAL MINING

Khrulev A.S., Dr Eng, RAS Corresponding Member, Head of Department of Underground Storage Design in Permafrost
Perfilova M.A., Process engineer,
"Gazprom Geotechnology," LLC.

The authors compare the experimental airlift data with the airlift calculations by Geier's formula, by energy balance and from the derived empirical relation.

The calculated airlift parameters are compared with the airlift characteristics and parameters from large amount of experimental data obtained either in laboratory or in field hydraulic borehole mining of phosphorite, construction-sand and gold placers.

The calculation of airlift parameters by the energy balance inside and outside airlift allows taking into account design of an airlift tool and the lifting conditions.

The required airlift capacity is provided by varying air consumption, airlift pipe diameter and drowning ratio when washing-out is implemented in weak-permeable rocks such as permafrost sandstone formations.

The derived empirical relation for the airlift with a short suction nose-piece enables simplified calculation of the airlift parameters and yields the results close to the experimental data and the estimates by the energy balance.

Key words: *hydraulic borehole mineral mining, airlift.*

REFERENCES

1. Geier V.G., 1968. Airlift in the Krasnoarmeiskaya Hydromine, Hydraulic Coal Mining: TSNIIITEUglya Collected Papers. Moscow: Nedra.
2. Geier V.G., 1972. Process flow sheets and mine pumping methods, Donetsk Polytechnical University Transactions, pp. 20–23.
3. Arens V.Zh., Shpak D.N., Ismagilov B.V., 1980. Borehole Hydraulic Hard Mineral Mining. Moscow: Nedra.



О Т Д Е Л Н Ы Е С Т А Т Ъ И ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

ОРОШАЕМОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ – ПЕРВООЧЕРЕДНОЕ УСЛОВИЕ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ТРОПИЧЕСКОЙ АФРИКИ

УДК 631.587: 63(213)

Саватеев Артём Анатольевич – аспирант, Институт Африки РАН,
e-mail: exch4nger@gmail.com

Проанализированы причины низкой экономической эффективности сельского хозяйства стран Африки южнее Сахары. Показано, что в нынешних условиях наиболее простым и эффективным выходом из этого положения должно стать внедрение орошаемого земледелия, предпочтительно в форме мелкомасштабных проектов, соответствующих ограниченным площадям хозяйств.

Ключевые слова: Африка южнее Сахары, водные ресурсы, сельское хозяйство, ирригация, мелкомасштабные проекты, развитие.

IRRIGATED AGRICULTURE - PRIME CONDITION AGRICULTURAL DEVELOPMENT TROPICAL AFRICA

Savateev A.A.

In the article the reasons for low efficiency of Sub-Saharan Africa agriculture are analyzed. The author proves that in the current circumstances, the most simple and effective way out of this situation should be the introduction of irrigated farming, preferably in the form of small-scale projects corresponding to the small size of the farms.

Key words: Subsaharan Africa, water resources, agriculture, irrigation, small-scale projects, development.